

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2804095

**СПОСОБ БУРЕНИЯ СКВАЖИН В
КОНТИНЕНТАЛЬНОМ ЛЬДУ**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет" (RU)*

Авторы: *Климов Владимир Яковлевич (RU), Сидоркин Дмитрий Иванович (RU), Ожигин Анатолий Юрьевич (RU)*

Заявка № 2023110486

Приоритет изобретения 24 апреля 2023 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 26 сентября 2023 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 24 апреля 2043 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
E21B 7/18 (2023.08)

(21)(22) Заявка: 2023110486, 24.04.2023

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
24.04.2023

Дата регистрации:
26.09.2023

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 24.04.2023

(45) Опубликовано: 26.09.2023 Бюл. № 27

Адрес для переписки:

190106, Санкт-Петербург, 21 линия, В.О., 2,
ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский горный
университет", Патентно-лицензионный отдел

(72) Автор(ы):

Климов Владимир Яковлевич (RU),
Сидоркин Дмитрий Иванович (RU),
Ожигин Анатолий Юрьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Санкт-Петербургский горный
университет" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2779170 C1, 05.09.2022. SU 369753
A3, 08.02.1973. RU 2178506 C1, 20.01.2002. RU
2225931 C1, 20.03.2004. RU 2751030 C1,
07.07.2021. CN 106907110 A, 30.06.2017. CN
109798071 A, 24.05.2019. Экспертное
заключение на проект "Обоснование и
разработка экологически чистой технологии
проникновения в подледниковое озеро Восток
(Антарктида)", найдено в (см. прод.)

(54) СПОСОБ БУРЕНИЯ СКВАЖИН В КОНТИНЕНТАЛЬНОМ ЛЬДУ

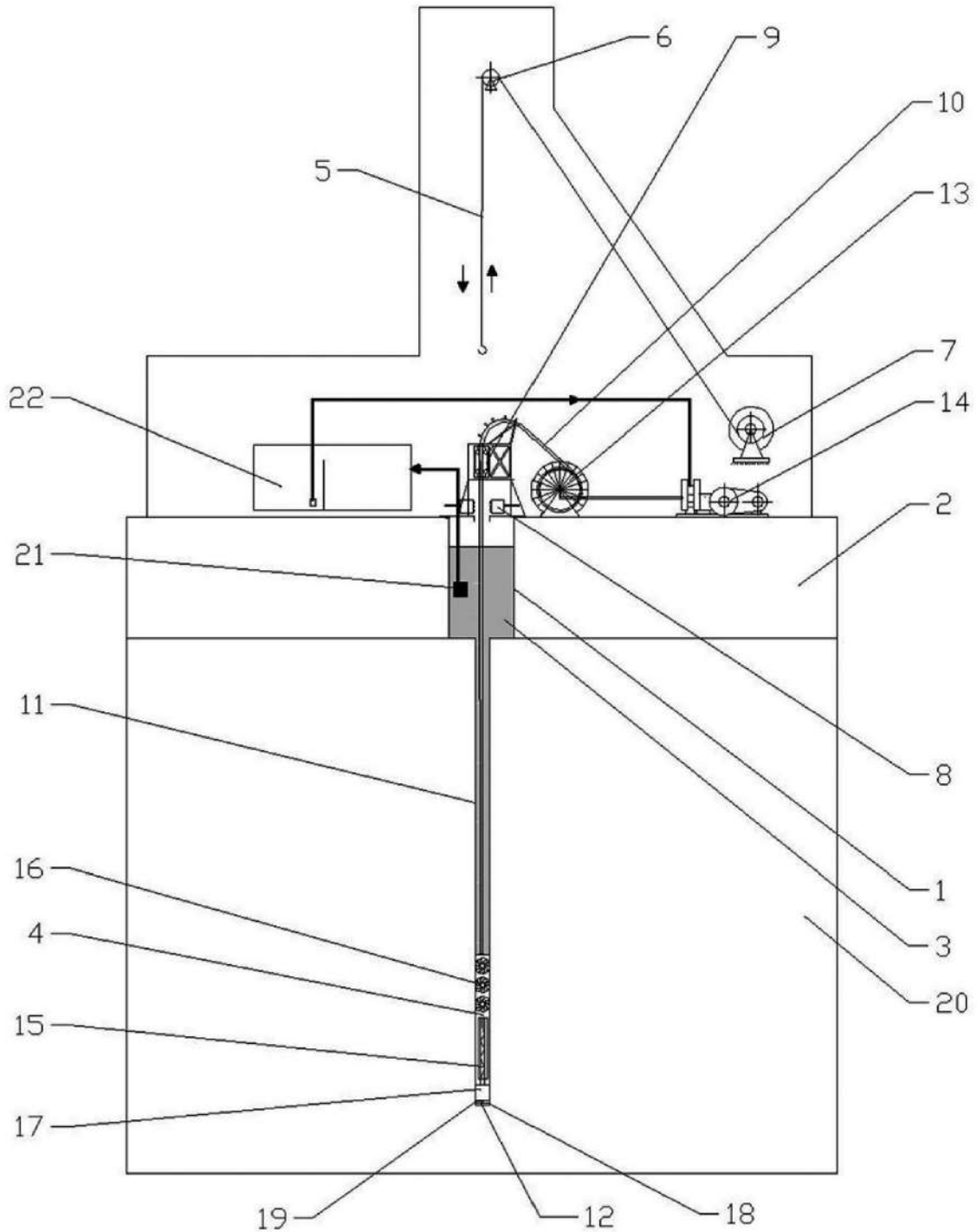
(57) Реферат:

Изобретение относится к области бурения скважин в континентальных льдах Антарктиды комбинированным способом с использованием струи жидкости под высоким давлением и режущих элементов вращающейся гидроструйной головки с очисткой всего ствола скважины от шлама незамерзающей промывочной жидкостью. Способ бурения скважин в континентальном льду включает установку обсадной колонны в фирн, заполнение обсадной колонны диметилполисилоксановой жидкостью, спуск в скважину гидронасоса высокого давления с поворотной режущей гидроструйной головкой, установку его на расстоянии от 3 до 10 мм от забоя и очистку диметилполисилоксановой жидкости от шлама с помощью шламового насоса и сепаратора. Рабочее давление диметилполисилоксановой жидкости создают с

помощью бурового насоса на поверхности в пределах от 5 МПа до 20 МПа, которую передают по гибким непрерывным трубам со встроенным электрокабелем к буровому снаряду, в котором повышают его до величины от 35 МПа до 50 МПа гидронасосом высокого давления с электроприводом. Поток рабочей жидкости под высоким давлением направляют в гидроструйную головку со встроенными стальными режущими элементами, которую вращают гидравлическим забойным двигателем, и одновременно спускают буровой снаряд на забой с помощью гибких непрерывных труб. Разрушают лед на забое скважины с формированием цилиндрической формы скважины при совместном воздействии высокоскоростных струй рабочей жидкости и механического резания льда. Снижают реактивный крутящий момент от работы

бурового снаряда на забое скважины путем разнонаправленного вращения гидронасоса высокого давления с электроприводом и гидравлического забойного двигателя. Выходящий из бурового снаряда поток рабочей

жидкости используют для транспортирования шлама от забоя к устью скважины. Обеспечивается повышение эффективности процесса бурения глубоких скважин в континентальном льду. 3 ил.



Фиг. 2

(56) (продолжение):

Интернет, https://documents.ats.aq/ATCM24/wp/ATCM24_wp029_r.pdf, [найдено 30.08.2023], дата публикации 17.04.2019 в соответствии с сайтом http://web.archive.org/web/20190417144945/https://documents.ats.aq/ATCM24/wp/ATCM24_wp029_r.pdf.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
E21B 7/18 (2023.08)

(21)(22) Application: **2023110486, 24.04.2023**

(24) Effective date for property rights:
24.04.2023

Registration date:
26.09.2023

Priority:

(22) Date of filing: **24.04.2023**

(45) Date of publication: **26.09.2023** Bull. № 27

Mail address:

**190106, Sankt-Peterburg, 21 liniya, V.O., 2, FGBOU
VO "Sankt-Peterburgskij gornyj universitet",
Patentno-litsenziionnyj otdel**

(72) Inventor(s):

**Klimov Vladimir Iakovlevich (RU),
Sidorkin Dmitrii Ivanovich (RU),
Ozhigin Anatolii Iurevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe biudzhethnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniia «Sankt-Peterburgskii gornyi
universitet» (RU)**

(54) **METHOD OF DRILLING WELLS IN CONTINENTAL ICE**

(57) Abstract:

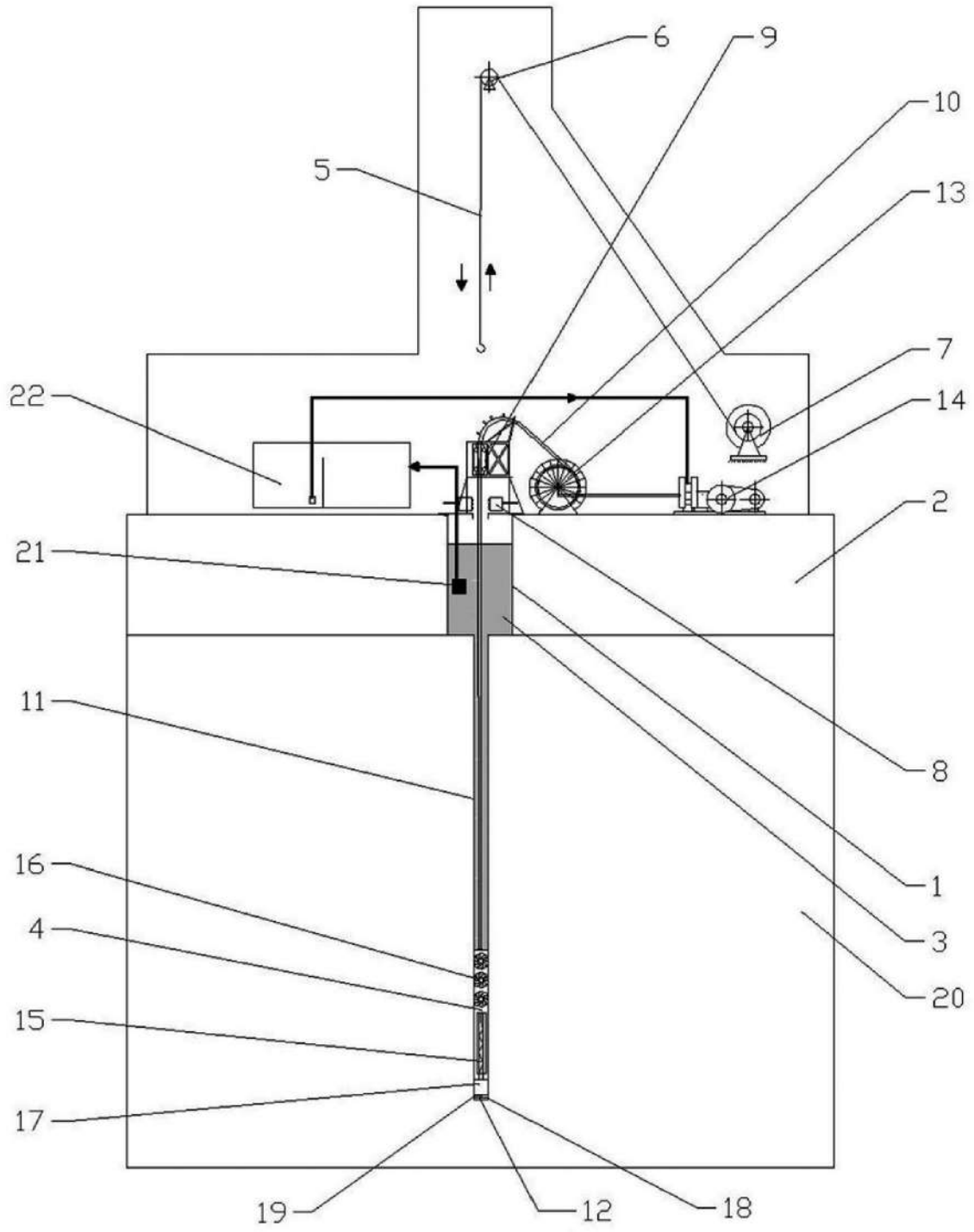
FIELD: oil and gas.

SUBSTANCE: invention relates to drilling wells in the continental ice of Antarctica using a combined method using a high-pressure liquid jet and cutting elements of a rotating hydraulic jet head with cleaning of the entire wellbore from slurry with a non-freezing flushing liquid. A method for drilling wells in continental ice includes installing a casing string in firm, filling the casing string with dimethylpolysiloxane liquid, running in a high-pressure hydraulic pump with a rotating cutting hydrojet head into the well, installing it at a distance of 3 to 10 mm from the bottom and cleaning the dimethylpolysiloxane liquid from sludge using slurry pump and separator. The operating pressure of the dimethylpolysiloxane fluid is created using a drilling pump on the surface in the range from 5 MPa to 20 MPa, which is transmitted through flexible continuous pipes with a built-in electric cable to the drilling rig, in which it is increased to a value from 35

MPa to 50 MPa by a high-pressure hydraulic pump with an electric drive. A high-pressure flow of working fluid is directed into a hydraulic jet head with built-in steel cutting elements, which is rotated by a hydraulic downhole motor, and at the same time the drill string is lowered to the bottom using flexible continuous pipes. The ice at the bottom of the well is destroyed with the formation of a cylindrical shape of the well under the combined influence of high-speed jets of working fluid and mechanical cutting of ice. The reaction torque from the operation of the drill at the bottom of the well is reduced by multidirectional rotation of the high-pressure hydraulic pump with electric drive and the downhole hydraulic motor. The flow of working fluid emerging from the drill string is used to transport cuttings from the bottom to the wellhead.

EFFECT: improved efficiency of the process of drilling deep wells in continental ice.

1 cl, 3 dwg



Фиг. 2

Изобретение относится к области бурения скважин в континентальных льдах Антарктиды комбинированным способом с использованием струи жидкости под высоким давлением и режущих элементов вращающейся гидроструйной головки с очисткой всего ствола скважины от шлама незамерзающей промывочной жидкостью.

5 Известен способ бурения глубокой скважины в ледяном покрове Антарктиды на российской станции Восток (Н.И. Васильев, А.Н. Дмитриев, П.А. Блинов. Бурение глубокой скважины на российской антарктической станции Восток. ВЕСТНИК ОНЗ РАН, ТОМ 4, NZ2001, doi: 10.2205/2012ТЯ000111, 2012.), который заключается в бурении скважины электромеханическим колонковым буровым снарядом опускаемым в
10 скважину, которая заполнена заливочной жидкостью, на грузонесущем электрокабеле. В процессе бурения осуществляется очистка забоя скважины от ледяного шлама с помощью местной призабойной циркуляции заливочной жидкости с помощью встроенного в буровой снаряд циркуляционного насоса с накоплением ледяного шлама в специальном отсеке бурового снаряда. При наполнении шламового отсека ледяным
15 шламом и/или заполнения колонковой трубы керном, буровой снаряд извлекается из скважины с помощью лебедки. Длина рейса варьируется от 3 м в верхней зоне скважины до 1 м при работе на глубинах свыше 3000 м, при скорости спуска – подъема снаряда в скважине в среднем 0,7 м/с. В качестве заливочной жидкости применяется смесь авиационного керосина с фреоном F-141b. С ростом глубины скважины рейсовая
20 скорость бурения составляет менее 0,5 м/ч.

Недостатками способа является низкая техническая скорость бурения из-за повышенной цикличности процесса бурения.

Известен способ бурения глубоких разведочных скважин в ледниковых покровах, (John W. Goodge, Jeffrey P. Severinghaus. Rapid Access Ice Drill: a new tool for exploration of
25 the deep Antarctic ice sheets and subglacial geology. Journal of Glaciology (2016), 62(236) 1049-1064.), который заключается в бурении льда механическим способом с помощью вращающихся бурильных труб, на конце которых располагается режущая коронка. Устройство для вращения труб располагается на поверхности. Для удаления ледяного шлама из скважины используется буровой насос и замкнутая система циркуляции
30 незамерзающей жидкости, оснащенная сепаратором для отделения ледяного шлама. В качестве промывочной жидкости используется Estinol 140, который остается в скважине после бурения и служит для обеспечения сохранности ствола скважины при глубоком бурении.

Недостатки способа является возможность внесения загрязнений в экосистему буровой скважины, пробуренную традиционными буровыми технологиями.

Известен способ гидроструйной резки (патент RU №2552512, опубликован 10.06.2015), включающий гидроструйную резку материала с охлаждением рабочей жидкости до
40 образования в режущей струе льда путем ее охлаждения в теплообменнике до полного замораживания и последующего адиабатического сжатия до рабочего давления с получением двухфазной взвеси «жидкость-лед», которую подают в сопло, посредством которого обеспечивают формирование режущей струи, сопровождающейся падением давления, достаточным для обратного превращения ядра формирующей струи в лед, и поддержание давление резания 1000 – 3500 бар.

Недостатки способа является замерзание рабочей жидкости, при бурении льда с
45 отрицательной температурой, низкая эффективность резания льда в скважине при изменении гидростатического давления на забое с увеличением глубины скважины, а так же ограниченное время использования скважины во льду и необходимость непрерывности процесса бурения льда, поскольку вода замерзает в скважине.

Известен способ бурения ледниковых скважин (патент RU № 2751030, опубликован 07.07.2021), включающий бурение ледниковой скважины горячей диметилполисилоксановой жидкостью, которую подают под давлением через сопло на конце гибкого трубопровода, которая после окончания бурения не замерзает в скважине и может впоследствии из нее извлекаться. При этом гибкий трубопровод подают до поверхности льда через обсадную колонну, помещенную в фирн.

Недостатками способа являются нагрев диметилполисилоксановой жидкости до температуры свыше + 80°C, ввиду ее низкой теплоемкости в 2,3 раза ниже теплоемкости воды, для плавления льда на забое скважины, а так же нарушение цилиндрической поверхности стенок скважины в процессе бурения плавлением льда и природных температурных условий окружающего льда.

Известен способ бурения скважин в ледниковом покрове (патент RU № 2779170, опубликован 05.09.2022), принятый за прототип, заключающийся в спуске в скважину, заполненную кремнеорганической жидкостью, на грузонесущем кабеле гидронасоса высокого давления с закрепленной на нем поворотной режущей гидроструйной головкой. Устанавливают головку на расстоянии от 3 до 10 мм от забоя. Струей жидкости высокого давления от 50 МПа до 100 МПа разрезают лед по контуру скважины. Соблюдают заданный диаметр скважины и разрушают лед в забое, а ледяной шлам под давлением заливочной кремнеорганической жидкости выносятся по скважине вверх. Подают смесь шлама с кремнеорганической жидкостью в сепаратор. Отделяют шлам, а очищенную кремнеорганическую жидкость возвращают в скважину.

Недостатки способа является накопление шлама в призабойной части скважины и заклинивание бурового снаряда, всасывание жидкости в скважине насосом высокого давления происходит из потока смеси жидкости с ледяным шламом, что приведет к засорению насоса и гидроструйной головки шламом, поэтому скважинное оборудование потребуется периодически извлекать на поверхность для очистки, чем нарушается непрерывность процесса бурения скважины и снижается производительность работ. Вращение гидроструйной головки приведет к возникновению реактивного крутящего момента и закручиванию грузонесущего кабеля, чем нарушается процесс бурения скважины.

Техническим результатом является повышение эффективности процесса бурения глубоких скважин в континентальном льду.

Технический результат достигается тем, что рабочее давление диметилполисилоксановой жидкости создают с помощью бурового насоса на поверхности, в пределах от 5 МПа до 20 МПа, которое передают по гибким непрерывным трубам со встроенным электрокабелем к буровому снаряду в котором повышают его до величины от 35 МПа до 50 МПа гидронасосом высокого давления с электроприводом, поток рабочей жидкости под высоким давлением направляют в гидроструйную головку со встроенными стальными режущими элементами, которую вращают гидравлическим забойным двигателем, и одновременно спускают буровой снаряд на забой с помощью гибких непрерывных труб, затем разрушают лед на забое скважины с формированием цилиндрической формы скважины, при совместном воздействии высокоскоростных струй рабочей жидкости и механического резания льда, при этом снижают реактивный крутящий момент от работы бурового снаряда на забое скважины путем разнонаправленного вращения гидронасоса высокого давления с электроприводом и гидравлического забойного двигателя, а выходящий из бурового снаряда поток рабочей жидкости используют для транспортирования шлама от забоя к устью скважины.

Способ поясняется следующими фигурами:

- фиг.1 – схема работы оборудования перед началом бурения скважины в континентальном льду;
- фиг.2 – схема работы оборудования при бурении скважины в континентальном льду;
- 5 фиг.3 – схема бурового снаряда, где:
- 1 – обсадная колонна;
- 2 – фирн;
- 3 – диметилполисилоксановая жидкость;
- 4 – буровой снаряд;
- 10 5 – талевый канат;
- 6 – кронблок со шкивом;
- 7 – лебедка;
- 8 – зажимное устройство;
- 9 – инжектор;
- 15 10 – гибкая непрерывная труба со встроенным электрокабелем;
- 11 – буровая скважина;
- 12 – забой скважины;
- 13 – приемо-передающее устройство;
- 14 – буровой насос;
- 20 15 – гидравлический забойный двигатель;
- 16 – гидронасос высокого давления с электроприводом;
- 17 – гидроструйная головка;
- 18 – стальные режущие элементы;
- 19 – сопла гидроструйной головки;
- 25 20 – континентальный лед;
- 21 – погружной шламовый насос;
- 22 – поверхностная система очистки;

Способ осуществляется следующим образом. Производят установку обсадной колонны 1 (Фиг.1) перекрывая пористый слой фирна 2 и заполняют ее внутренний

30 объем диметилполисилоксановой жидкостью 3, например, марки ПМС-5, с вязкостью от 5,5 до 6,6 сСт и температурой застывания -65°C . Устанавливают на устье скважины буровой снаряд 4 с помощью талевого каната 5, кронблока со шкивом 6, лебедки 7 и фиксируют его зажимным устройством 8. Отсоединяют от бурового снаряда 4 талевый канат 5 и поднимают его вверх от устья скважины. Инжектор гибких труб 9 (Фиг.2)

35 перемещают к оси скважины и соединяют непрерывные гибкие трубы со встроенным электрокабелем 10 с буровым снарядом 4. Разжимают зажимное устройство 8 и буровой снаряд 4 опускают в скважину 11 до забоя 12 на гибких непрерывных трубах со встроенным электрокабелем 10, используя инжектор гибких труб 9 и приемно-отдающее устройство 13. Включают буровой насос 14, который передает давление рабочей

40 жидкости в пределах от 5 МПа до 20 МПа, при этом обеспечивает скорость восходящего потока диметилполисилоксановой жидкости в кольцевом пространстве скважины, которая превышает скорость поступления ледяного шлама в процессе углубления скважины, к гидравлическому забойному двигателю 15 (Фиг.3) и гидронасосу высокого давления с электроприводом 16. Подают питающее напряжение к кабелю,

45 смонтированному совместно с гибкими непрерывными трубами 10, что приводит к включению гидронасоса высокого давления с электроприводом 16 и повышению давления рабочей жидкости до значений от 35 МПа до 50 МПа. Гидравлический забойный двигатель 15 передает вращение гидроструйной головке 17 со стальными

режущими элементами 18. В сопла гидроструйной головки 19 от гидронасоса высокого давления 16 подается рабочая жидкость и происходит процесс бурения скважины в массиве континентального льда 20 с формированием цилиндрической поверхности стенок скважины с внутренним диаметром, соответствующим наружному диаметру гидроструйной головки 17 со стальными режущими элементами 18. Работа высокоскоростных струй диметилполисилоксановой жидкости на забое скважины создает зону предварительного разрушения в массиве льда, что облегчает процесс резания льда стальными режущими элементами гидроструйной головки и способствует увеличению механической скорости бурения. Оптимальное рабочее расстояние от сопел 19 гидроструйной головки 17 до забоя скважины 12 от 3,0 до 10,0 мм обеспечивается заданными конструктивными параметрами гидроструйной головки. По мере продвижения забоя скважины 12 в глубину, гибкие непрерывные трубы со встроенным электрокабелем 10 подают в скважину с помощью инжектора 9 и приемо-отдающего устройства 13, синхронизируя скорость подачи с механической скоростью бурения. Для предотвращения закручивания гибких непрерывных труб со встроенным электрокабелем в скважине под воздействием реактивных крутящих моментов при работе гидронасоса высокого давления с электроприводом 16 и гидравлического забойного двигателя 15, направления их вращения делают разнонаправленным. Образовавшийся в процессе бурения ледяной шлам потоком диметилполисилоксановой жидкости выносится к верхней части скважины, закрепленной обсадной колонной 1, откуда погружным шламовым насосом 21 направляется в поверхностную систему очистки 22, в которой ледяной шлам отделяется от рабочей диметилполисилоксановой жидкости. Очищенную от шлама рабочую диметилполисилоксановую жидкость направляют во всасывающую магистраль бурового насоса 14, и далее в скважину 11 по гибким непрерывным трубам со встроенным электрокабелем 10 через приемо-отдающее устройство 13 и инжектор гибких труб 9.

Способ поясняется следующими примерами.

Для осуществления рассматриваемого способа бурения используются известные технические средства, включающие буровой насос, гибкие непрерывные трубы со встроенным электрокабелем, гидронасос высокого давления с электроприводом, гидравлический забойный двигатель, которые имеют определенные граничные условия их применения. Так, рабочее давление внутри гибких непрерывных труб со встроенным электрокабелем ограничено значением 20 МПа, для работ, например, винтового, марки ДРУ 95,4/5,33 на максимальной мощности гидравлического забойного двигателя, требуется создать перепад давления рабочей жидкости 5,6 МПа при расходе от 5 до 10 л/с, скважинный гидронасос высокого давления с электроприводом, например, марки УЭЦНПТ-5, обеспечивает давление нагнетания рабочей жидкости 35 МПа при давлении на его входе, равном атмосферному, с расходом от 0,17 до 6,36 л/с, а буровой насос, например, марки НБ 125 ИЖ, обеспечивает подачу рабочей жидкости в пределах от 6,1 л/с до 19,8 л/с, при давлении нагнетания в пределах от 19,8 до 6,1 МПа соответственно. Характеристики предлагаемого оборудования показывают, что выбранные технические средства позволяют осуществить процесс бурения по рассматриваемому способу. Буровой насос обеспечивает подачу рабочей жидкости по гибким непрерывным трубам с давлением, не превышающим паспортные характеристики гибких труб, а именно 20 МПа, подача бурового насоса достаточна для привода в действие гидравлического забойного двигателя на максимальных значениях мощности, а создаваемое буровым насосом давление рабочей жидкости на входе в буровой снаряд в пределах от 5 до 19,8 МПа повышается гидронасосом высокого

давления при его включении до величины от 35 до 50 МПа соответственно.

Экспериментально установлено, что для резания льда высокоскоростными струями жидкости должно быть обеспечено давление струи на лед, превышающего его предел прочности на сжатие, который составляет в среднем от 15 до 35 МПа, при температурах льда - от -10°C до -50°C . С учетом коэффициента запаса 1,4 максимальное давление рабочей жидкости на входе в сопло составит 50 МПа.

Давление струи жидкости истекающей из сопла определяют по формуле:

$$P_c = (0,5 + e) \cdot 10^{-6} \cdot \rho \cdot V_c^2, \text{ МПа, где}$$

e – коэффициент сжатия струи, при коноидальном профиле отверстия сопла, $e=1$;
 ρ – плотность рабочей жидкости, для наших условий примем $\rho=1000 \text{ кг/м}^3$;

V_c – скорость струи рабочей жидкости на выходе из сопла, м/с, которая рассчитывается по формуле Торичелли:

$$V_c = \sqrt{2gH}, \text{ м/с, где}$$

H – напор жидкости перед входом в сопло, примем 3500 м;

g – ускорение свободного падения, $9,81 \text{ м/с}^2$

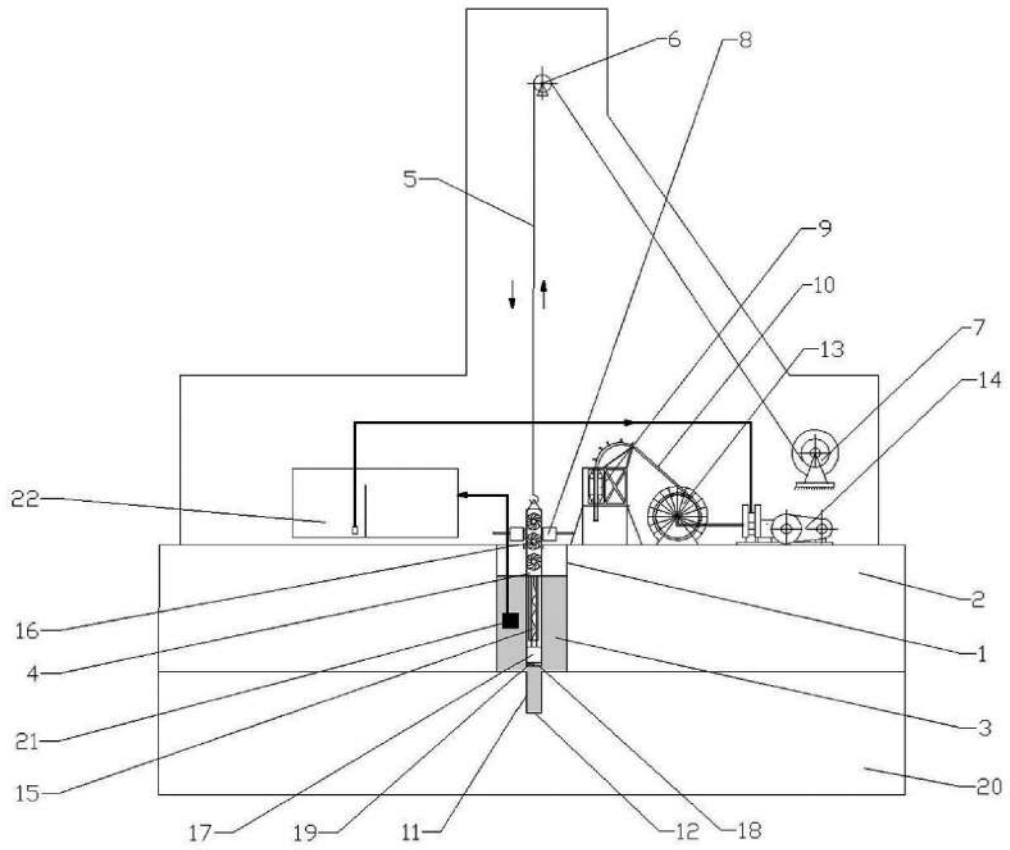
Тогда, для рассматриваемого напора получим, $V_c = 262 \text{ м/с}$, а давление струи составит $P_c = 103 \text{ МПа}$, что в 3 раза превышает предел прочности льда на сжатие. Для сопла диаметром 0,5 мм расход рабочей жидкости составит 0,05 л/с, а для 12 сопел в конструкции гидроструйной головки – 0,6 л/с., что подтверждает возможность реализации предлагаемого способа бурения рассмотренными техническими средствами.

Способ позволяет повысить эффективность бурения глубоких скважин в континентальном льду за счет использования двух источников энергии - электрической и гидравлической.

(57) Формула изобретения

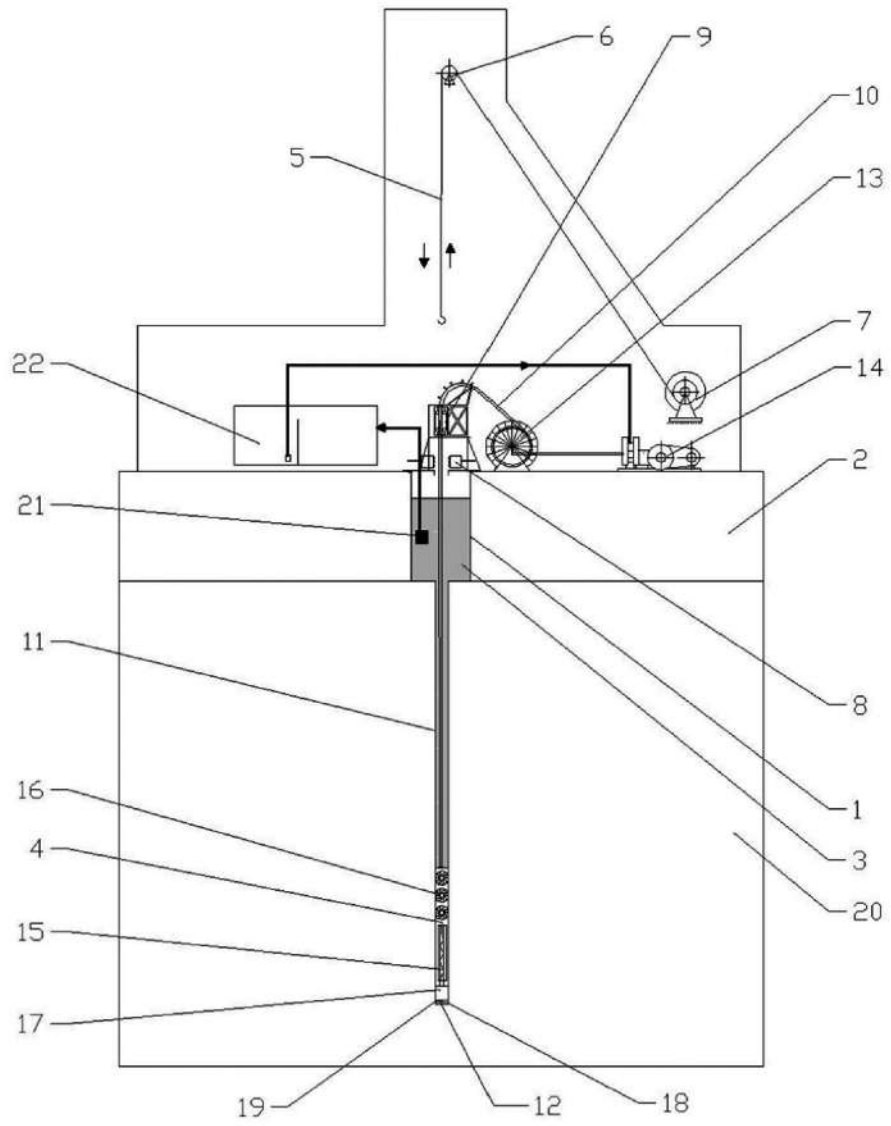
Способ бурения скважин в континентальном льду, включающий установку обсадной колонны в фирн, заполнение обсадной колонны диметилполисилоксановой жидкостью, спуск в скважину гидронасоса высокого давления с поворотной режущей гидроструйной головкой, установку его на расстоянии от 3 до 10 мм от забоя, очистку диметилполисилоксановой жидкости от шлама с помощью шламового насоса и сепаратора, отличающийся тем, что рабочее давление диметилполисилоксановой жидкости создают с помощью бурового насоса на поверхности в пределах от 5 МПа до 20 МПа, которую передают по гибким непрерывным трубам со встроенным электрокабелем к буровому снаряду, в котором повышают его до величины от 35 МПа до 50 МПа гидронасосом высокого давления с электроприводом, поток рабочей жидкости под высоким давлением направляют в гидроструйную головку со встроенными стальными режущими элементами, которую вращают гидравлическим забойным двигателем, и одновременно спускают буровой снаряд на забой с помощью гибких непрерывных труб, затем разрушают лед на забое скважины с формированием цилиндрической формы скважины при совместном воздействии высокоскоростных струй рабочей жидкости и механического резания льда, при этом снижают реактивный крутящий момент от работы бурового снаряда на забое скважины путем разнонаправленного вращения гидронасоса высокого давления с электроприводом и гидравлического забойного двигателя, а выходящий из бурового снаряда поток рабочей жидкости используют для транспортирования шлама от забоя к устью скважины.

1

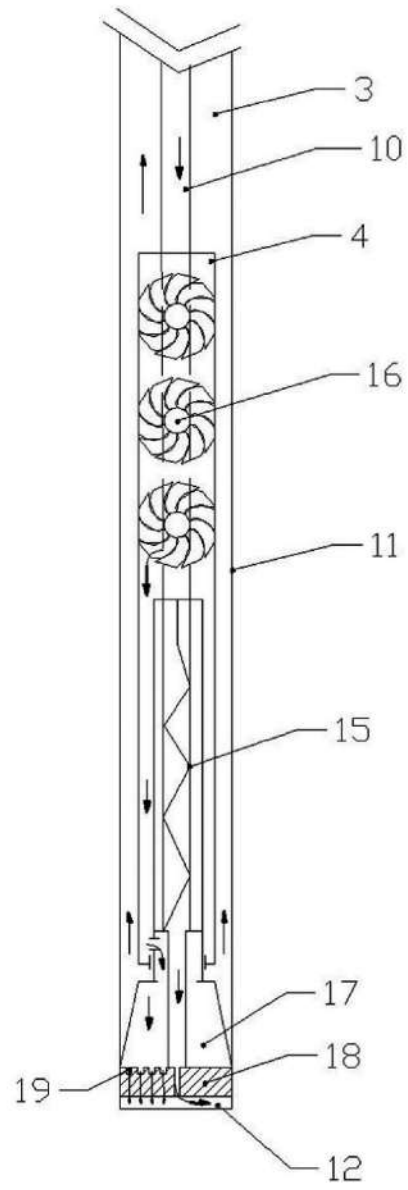


Фиг. 1

2



Фиг. 2



Фиг. 3